نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۷۷۹-۷۶۱

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 761-779

ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی و سویا در کشت مخلوط تحت شرایط تنش کم‌آبی در منطقه همدان

سمیه حاجی‌نیا[۱]- گودرز احمدوند[۲]*- علی اشرف مهرابی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

به‌منظور بررسی اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن و سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت اصلی شامل کم‌آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی آب از تشت تبخیر کلاس A) و کرت‌های فرعی نسبت‌های کشت مخلوط جایگزینی در پنج سطح ۳۳ درصد ارزن+ ۶۷ درصد سویا، ۵۰ درصد ارزن+ ۵۰ درصد سویا،۶۷ درصد ارزن+ ۳۳ درصد سویا و تک‌کشتی سویا و ارزن بودند. صفات مورد بررسی شامل غلظت کلروفیل، ارتفاع بوته، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارزن معمولی و سویا بودند. نتایج نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی، غلظت کلروفیل برگ ارزن و سویا کاهش یافت. غلظت کلروفیل برگ سویا و ارزن در نسبت‌های کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص آن‌ها بود. بیشترین تعداد خوشه در بوته و تعداد دانه در خوشه ارزن در نسبت‌های (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) در شرایط عدم تنش کم‌آبی و کمترین میزان آن‌ها در کشت خالص ارزن تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی مشاهده شد. تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه سویا شد. نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در غلاف سویا را افزایش داد. نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی، بیشترین نسبت برابری زمین ۱/۱۴ را به خود اختصاص داد. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین نسبت کشت مخلوط برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد دانه ارزن و سویا نسبت کشت (۵۰ درصد سویا: درصد ۵۰ ارزن) در سطوح مختلف کم‌آبیاری بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، الگوی کاشت، کلروفیل، نسبت برابری زمین

مقدمه

خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان در سراسر جهان است که عملکرد محصولات را گاهی تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (Mahajan and Toteja, 2005). ایران با متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال، یک‌سوم متوسط بارندگی جهان را دارد. بر اساس گزارش فائو حدود ۹۰ درصد از کشور ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد (FAO, 2010). بنابراین، دست‌یابی به راهبردهایی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی بر گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

یکی از راهکارهای زراعی برای افزایش راندمان آب و استفاده حداکثر از رطوبت خاک، کشت مخلوط می‌باشد (Sanjani *et al*., 2011). کشت مخلوط در مناطق خشک و نیمه‌خشک از سالیان دور در بسیاری از کشورها متداول بوده که با انجام آن ضمن کاهش خطرات احتمالی و افزایش حاصلخیزی خاک، از منابع نیز حداکثر بهره‌برداری می‌شود. در این روش کشت، میزان مصرف سموم گیاهی و کودهای شیمیایی کاهش یافته و به همان نسبت میزان آلودگی محیط‌زیست نیز کمتر می‌شود (Pour Golestani *et al*., 2015). استفاده از گیاهان بقولات در کشت مخلوط با غلات باعث افزایش عملکرد محصولات به‌خصوص در شرایط خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Ghosh *et al*., 2009). الگوهای جذب آب در گیاهانی که به‌صورت

۱- دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، همدان، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: gahmadvand@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v16i4.66825

مخلـوط کشـت مـی‌شـوند بـا کشـت خـالص متفـاوت اسـت (Mohsenabadi *et al*., 2008). وایلی (Willey, 1990) در بررسی خـود نشـان داد کـه در کشـت مخلـوط، آب قابـل‌دسـترس بیشـتر از تک‌کشتی است و علت آن را اختلاف در الگوهای ریشه‌دهی گیاهـان در کشت مخلوط دانست؛ که سبب می‌شود جـذب آب در ایـن کشـت مخلوط افزایش یافتـه و در نتیجـه مقـدار آب قابـل‌دسـترس گیـاه را افزایش داده و منجـر بـه افـزایش نسـبت تعـرق بـه تبخیـر و تعـرق می‌گردد.

ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) یکی از غلاتی اسـت که نسبت به تنش خشکی متحمل بوده و مـی‌تـوان از آن در منـاطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان منابع قابل اطمینان تولید دانـه و علوفـه بهره برد، با این حال رشد و نمو این گیاه نیز مـی‌توانـد بـر اثـر تـنش کم‌آبی کاهش یابد. بررسی تنش خشکی در مراحل مختلف رشـد، بـر عملکرد و بازده استفاده از آب پنج ژنوتیپ ارزن معمولی نشان داد، که در شرایط تنش، عملکرد ژنوتیپ‌های ارزن کاهش یافـت امـا کـاهش عملکرد در شرایط اعمال تنش در مرحله ظهورخوشه شدیدتر از اعمال تنش در مرحله رشد رویشی بـود (Saghatoleslami *et al*., 2007). یاداو و ابتناگار (Yadav and Bhatnagar, 2001) نشـان دادنـد کـه خشکی پس از گلدهی عملکرد دانـه ارزن مرواریـدی (*Pennisetum glaucum* L.) را کاهش داد و کاهش عملکرد از طریق کـاهش سـه جزء مهم عملکرد یعنی تعداد پنجه در مترمربع، وزن دانه و تعداد دانـه در خوشه بود.

سویا (*Glycine max* L. Merr.) از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در جهان و ایران محسوب می‌شود و با دارا بودن ۲۵-۱۸ درصد روغـن و ۵۰-۳۰ درصد پروتئین، یکی از منابع عمـده تولیـد روغـن و پـروتئین گیـاهی اسـت و اهمیـت ویـژه‌ای در تغذیـه انسـان، دام و طیـور دارد (Khajehpour, 2007). بنـابراین، پتانسـیل زیـادی بـرای گسـترش کشت این گیاه در الگوهای کشـت مخلـوط وجـود دارد. ابوطالبیـان و خلیلی (Aboutalebian and Khalili, 2014) اثر سه رژیـم آبیـاری ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کـلاس A را بـر عملکرد سویا در همدان بررسی نمودند و نشان دادند که عملکرد دانـه سویا در رژیم‌های آبیاری ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیـر در مقایسـه بـا رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر (عدم تنش کم‌آبی) به‌ترتیب به‌میزان ۳۵/۸۳ و ۷۶/۶۷ درصد کاهش یافت.

یانگ و همکـاران (Yang *et al*., 2009) کشـت مخلـوط گنـدم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) را روش مناسبی برای حداقل استفاده از آب و بالاترین عملکرد در شرایط تنش کم‌آبی معرفـی کردنـد. واکـر و اگینـدو (Walker and Ogindo, 2003) مشـاهده کردنـد کـه کشـت مخلـوط ذرت و لوبیـا (*Phasaeolous vulgaris* L.) نسبت به کشت خالص، حداقل تبخیر را داشـت. علـت این امر سطح برگ بیشتر و پوشش سریعتر زمین بود کـه باعـث شـد مقدار انرژی قابل استفاده برای تبخیر کـاهش یابـد. قـش (Ghosh, 2004) گـزارش کـرد کـه در بـین کشـت مخلـوط ذرت، سـورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و ارزن مرواریدی با بادام‌زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، ارزن مرواریـدی دارای بیشـترین عملکـرد علوفـه خشک دو چین (۱۶/۵ تن)، تعداد پنجه و ارتفاع در بین این سـه گیـاه بود. رضایی و همکـاران (Rezaei *et al*., 2011) بـا بررسـی کشـت مخلوط سویا و ارزن اظهار داشتند که عملکرد علوفه تـر و خشـک در کشت مخلوط ردیفی بر تک‌کشتی و کشت درهـم برتـری نشـان داد. محققان با بررسی نسبت‌های مختلف جایگزینی کشت مخلوط سویا با دو گیـاه ریحـان (*Ocimum basilicum* L.) و گاوزبـان اروپـایی (*Borago officinalis* L.) دریافتنـد کـه عملکـرد اقتصـادی و بیولوژیکی سویا در تمامی نسـبت‌هـای کشـت مخلـوط بـا ریحـان و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) از مقدار بیشتری برخوردار بـود (Bagheri Shirvan *et al*., 2014). الـه‌دادی و همکـاران (Allahdadi *et al*., 2015) در بررسی رقابت و عملکرد کمی و کیفی در کشت مخلوط ردیفی سویا و همیشه‌بهار و کشـت مخلـوط نـواری (چهار ردیف همیشه‌بهار+ شش ردیف سویا) از نظر عملکرد اقتصادی، نسبت برابری زمین نسبت بـه سـایر الگوهـای مختلـف کشـت‌هـای مخلوط برتـری داشـت. رضـایی‌چیانـه (Rezaei-Chiyaneh, 2016) گزارش داد بیشترین نسبت برابـری زمـین (۱/۹۳) از کشـت مخلـوط نواری با نسـبت (دو ردیـف سـیاهدانه (*Nigella sativa* L.)+ چهـار ردیف لوبیا + دو ردیف ریحان) به‌دست آمد که نشـان‌دهنـده افـزایش سودمندی زراعی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص بود.

با توجه به اهمیت گیاه سـویا و ارزن معمـولی و همچنـین وجـود عوامل محدودکننده رشد مانند تنش کم‌آبی که باعث کاهش عملکـرد این محصـولات مـی‌شـود. توجـه بـه راهکارهـای مـدیریتی مناسـب به‌منظور کاهش اثرات سوء تنش و همچنین دسـت‌یـابی بـه حـداکثر عملکرد در این محصولات امری ضروری به‌نظر مـی‌رسـد. بنـابراین، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کشت مخلوط بر عملکـرد و اجـزای عملکرد ارزن و سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

آزمـایش در مزرعـه تحقیقـاتی دانشـکده کشـاورزی دانشـگاه بوعلی‌سینا همدان واقع در روستای دستجرد با عـرض جغرافیـایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا، طـی سـال زراعـی ۹۵-۱۳۹۴ اجـرا گردید. منطقه از نظر اقلیمی بر اساس اقلیم نمای دومارتن جزء مناطق نیمه‌خشک و سرد، با میانگین بارندگی سالیانهٔ ۳۳۰ میلی‌لیتر و متوسط درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی‌گراد در گرمترین ماه سال اسـت. بافـت خاک محل آزمایش لومی بود. زمین محل انجام آزمایش در سال قبل

از اجرای آزمایش تحت آیش قرار داشت. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک)

Table 1- Physical and chemical characteristics of experimental field soil (soil depth 0-30 cm)

نیتروژن کل Total N (%)	پتاسیم قابل جذب K (mg kg^{-1})	فسفر قابل جذب P (mg kg^{-1})	ماده آلی OM (%)	pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	بافت خاک Soil texture
0.05	326.0	11.0	1.0	8.00	0.18	لومی (Loam)

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت‌های اصلی شامل کم‌آبیاری در سه سطح (آبیاری پس از ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی آب از تشتک تبخیر کلاس A که به‌ترتیب به‌عنوان آبیاری مطلوب (عدم تنش)، تنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی در نظر گرفته شد) و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط جایگزینی به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح (تک‌کشتی سویا (۱۰۰ درصد سویا: ۰ درصد ارزن)، تک‌کشتی ارزن (۰ درصد سویا: ۱۰۰ درصد ارزن)، کشت مخلوط جایگزینی ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن، ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن و ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن در کرت‌های فرعی قرار گرفتند.

عملیات کاشت سویا (*Glycine max* L. Merr.) و ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) به‌صورت همزمان در اول خرداد ماه در کرت‌هایی شش ردیفه با طول چهار متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر انجام شد. فاصله نهایی بوته‌ها روی خطوط کاشت در هر دو گیاه، پنج سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی از همدیگر یک متر بود. نسبت‌های مختلف کشت مخلوط به روش جایگزینی انجام شد و نسبت‌های کاشت با تغییر تعداد ردیف‌های کشت تنظیم گردید. در نسبت کاشت (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن) چهار ردیف ارزن و دو ردیف سویا و در نسبت (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) دو ردیف ارزن و چهار ردیف سویا منظور شد و نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) شامل کشت یک در میان ارزن با سویا بود. در تک‌کشتی سویا و ارزن معمولی، شش ردیف به کشت خالص هر کدام از آن‌ها اختصاص یافت.

بذر مورد استفاده ارزن نوع معمولی (توده محلی) از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان و بذر سویا (رقم M9) از مرکز تحقیقات دانه‌های روغنی الشتر (لرستان) تهیه شده بود. کاشت بذر با تراکم بیشتر از حد مورد نظر انجام و برای دست‌یابی به تراکم مطلوب سویا و ارزن (۴۰ بوته در مترمربع) گیاهان در مرحله چهار تا شش برگی تنک شدند. واحدهای آزمایشی تا ۲۱ روز پس از کاشت به‌طور کامل آبیاری شدند و بعد از این مدت، اعمال تیمارهای تنش کم‌آبی آغاز شد. آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای با استفاده از لولهٔ پلی‌اتیلن انجام و مقدار آب مصرفی در هر بار آبیاری با استفاده از کنتور ثبت گردید. نیاز آبی هر گیاه، با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مونتیث و ضرایب گیاهی در منطقه مورد آزمایش از معادله‌های (۱) و (۲) تعیین گردید (Allen *et al*., 1998). برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و ضرایب تشتک استفاده شد.

$$ET_0=K_p\times E_{pan} \quad (1)$$

در این معادله E_{pan}، K_p و ET_0 به‌ترتیب تبخیر از تشتک، ضریب تشتک و تبخیر و تعرق مرجع است. در این تحقیق ضریب تشتک محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶، با توجه به موقعیت و محل استقرار آن به‌طور میانیگن ۰/۶۵ منظور شد.

$$ET_{crop}=K_c\times ET_0 \quad (2)$$

در این معادله ET_{crop} تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، K_c ضریب گیاهی (بدون واحد) است (Allen *et al*., 1998). متوسط ضرایب گیاهی ارزن و سویا به‌ترتیب ۱ و ۱/۱ در نظر گرفته شد (Azizi *et al*., 2015).

در مرحله گل‌دهی سویا و مرحله خوشه‌دهی ارزن معمولی، مجموع غلظت کلروفیل آ و ب مطابق روش آرنون (Arnon, 1975) اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد واقعی بیولوژیکی و دانه، ارزن معمولی در تاریخ ۲۰ شهریور و سویا در ده مهر با لحاظ حاشیه، سطحی معادل دو مترمربع برداشت شد. پیش از برداشت، اجزای عملکرد دانه سویا شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن صد دانه، ارتفاع بوته در سویا و تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه در ارزن معمولی اندازه‌گیری و تعیین گردید. برای محاسبه میزان سودمندی کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی از شاخص نسبت برابری زمین[1] (معادله ۳) استفاده شد (Willey, 1990).

$$LER=\frac{Y_{sm}}{Y_{ss}}+\frac{Y_{ms}}{Y_{mm}} \quad (3)$$

در این معادله Y_{sm} و Y_{ss} به‌ترتیب عملکرد سویا در کشت مخلوط و خالص و Y_{ms} و Y_{mm} به‌ترتیب عملکرد ارزن در کشت مخلوط و خالص می‌باشد.

عملکرد مورد انتظار سویا در نسبت‌های (۶۷ درصد سویا: ۳۳

1- Land Equivalent Ratio (LER)

درصد ارزن)، (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن) به‌ترتیب از تقسیم عملکـرد واقعـی سـویا در تـک‌کشـتی تقسیم بر ۱/۵، ۲ و ۳ به‌دست آمد. عملکرد مورد انتظار ارزن معمـولی نیز در نسبت‌های کاشت (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن)، (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن) به‌ترتیـب از تقسـیم عملکـرد واقعـی ارزن در تـک‌کشـتی تقسـیم بـر ۳، ۲ و ۱/۵ محاسبه شد.

تجزیه واریانس داده‌ها به کمـک نـرم‌افـزار SAS 9.2 و مقایسـه میانگین‌ها توسط آزمون حـداقل اخـتلاف معنـی‌دار (LSD) در سـطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

غلظت کلروفیل و ارتفاع بوته ارزن معمولی و سویا

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشـان‌دهنـدۀ معنـی‌دار بـودن تـأثیر کم‌آبیاری بر غلظت کلروفیـل و ارتفـاع بوتـه سـویا و ارزن در سـطح احتمال یک درصد بود. تأثیر نسبت‌هـای مختلـف کشـت مخلـوط بـر غلظت کلروفیل برگ سویا و ارزن معنی‌دار گردید (جدول ۲). همچنین ارتفاع بوته سویا تحت تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و اثرات متقابل (کم‌آبیاری× نسبت‌های کشت مخلوط) قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر غلظت کلروفیل برگ سویا و ارزن معمولی
Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of different intercropping ratios and deficit irrigation levels on chlorophyll of soybean and common millet

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سویا Soybean		ارزن معمولی Common millet	
		کلروفیل Chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height	کلروفیل Chlorophyll	ارتفاع بوته Plant height
بلوک Block	2	0.209^{ns}	21.054^{ns}	1.111^{ns}	20.09^{ns}
کم‌آبیاری Deficit irrigation	2	2.733^{**}	1613.25^{**}	5.192^{**}	2061.95^{**}
خطای اصلی Error a	4	0.124	5.11	0.267	48.99
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	3	0.074^{*}	154.79^{**}	0.307^{**}	0.33^{ns}
کم‌آبیاری× نسبت‌های کشت مخلوط Deficit irrigation × Intercropping ratios	6	0.002^{ns}	11.56^{*}	0.009^{ns}	1.08^{ns}
خطای فرعی Error b	18	0.022	2.99	0.023	21.05
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	6.63	12.75	5.04	7.45

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: not significant

با اعمال تنش کم‌آبی، غلظت کلروفیل برگ ارزن و سویا کـاهش یافت. میزان کاهش غلظـت کلروفیـل بـرگ سـویا در سـطوح تـنش متوسط و تنش شدید کم‌آبی نسبت به عدم تنش کم‌آبی به‌ترتیب برابر ۱۸/۵ و ۳۴/۷۳ درصد بود (جدول ۳).

میزان کاهش غلظت کلروفیل برگ ارزن در شرایط تـنش شـدید کم‌آبی در مقایسه با عدم تنش معادل ۳۶/۰۸ درصد بود (جدول ۳).

غلظت کلروفیل در همه نسبت‌های کشت مخلوط بالاتر از کشـت خالص سویا بود (جدول ۳). میزان افزایش غلظت کلروفیل برگ سـویا در نسبت‌های (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن)، (۵۰ درصد سـویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) در مقایسه بـا کشـت خالص سویا، به‌ترتیب معادل ۸/۴۳، ۸/۵۷ و ۸/۷۶ درصد بـود (جـدول ۳).

بیشترین غلظت کلروفیل برگ ارزن (۳/۱۸ و ۳/۱۷ میلـی‌گـرم در گرم وزن تر برگ) به‌ترتیب در نسبت‌های کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصـد ارزن) بـه‌دسـت آمـد کـه بـه‌ترتیـب ۱۲/۳۴ و ۱۲/۰۹ درصـد بیشـتر از غلظـت کلروفیـل در تک‌کشتی ارزن بود (جدول ۳).

جدول ۳- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر غلظت کلروفیل برگ سویا و ارزن معمولی در سطوح مختلف کم‌آبیاری
Table 3- The effect of different intercropping ratios on photosynthetic pigments concentration of soybean and common millet in different levels of deficit irrigation

تیمارها Treatments	سویا Soybean	ارزن معمولی Common millet	
کم‌آبیاری Deficit irrigation*	غلظت کلروفیل Chlorophyll (mg g^{-1})	غلظت کلروفیل Chlorophyll (mg g^{-1})	ارتفاع بوته ارزن Plant height of millet (cm)
60	2.747[a]	3.623[a]	84.33[a]
90	2.240[b]	3.094[a]	72.22[b]
120	1.793[c]	2.316[b]	58.14[c]
LSD (0.05)	0.400	0.585	7.93
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios**			
100S:0M	2.123[b]	-	-
67S:33M	2.309[a]	3.169[a]	68.87[a]
50S:50M	2.305[a]	3.176[a]	70.65[a]
33S:67M	2.302[a]	2.877[b]	71.44[a]
0S:100M	-	2.827[b]	69.38[a]
LSD (0.05)	0.148	0.150	4.54

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند

In each column, means followed by the same letters are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05)

*: میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A

**: تک‌کشتی سویا؛ ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن، ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن؛ ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن؛ تک‌کشتی ارزن

*: MM evaporation from pan class A

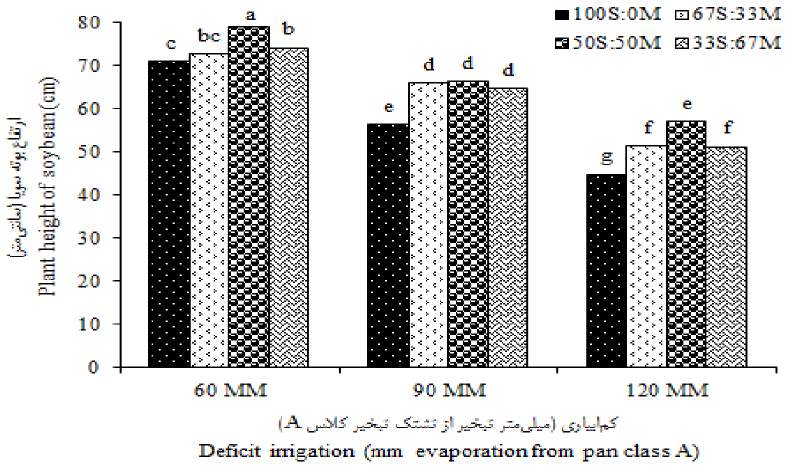
**: 100S:0M; 67S:33M; 50S:50M; 33S:67M; 0S:100M

کاهش مقدار کلروفیل که از عوامل مهم تأثیرگذار در ظرفیت فتوسنتزی است، با افزایش سطوح تنش کم‌آبی، موجب ناکارآمدی برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید صدمات تنش گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت کلروفیل در هر دو گیاه ارزن و سویا در شرایط تنش کم‌آبی کاهش یافت. این مسئله ممکن است به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد (Yang *et al*., 2016). تنش کم‌آبی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید اکسیژن‌های فعال، سبب تجزیه و تخریب کلروفیل می‌شود (Rajasekar *et al*., 2016). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که تنش کم‌آبی میزان کلروفیل گیاه را در گیاهان ذرت و *Chorispora bungeana* کاهش می‌دهد (Rajasekar *et al*., 2016; Yang *et al*., 2016).

افزایش مقدار کلروفیل در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب بیشتر عناصر از خاک توسط هر دو گیاه باشد.این نتایج با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Lin *et al*., 2007). نامبردگان اظهار داشتند که در کشت‌های مخلوط در برگیرنده بقولات و غلات، به‌دلیل تثبیت نیتروژن توسط بقولات و افزایش کلروفیل برگ، کارآیی مصرف نور افزایش می‌یابد. شاید بتوان، افزایش غلظت کلروفیل ارزن به موازات افزایش تراکم سویا را به استفاده ارزن از نیتروژن تثبیت‌شده توسط سویا در کشت مخلوط نسبت داد. قوش و همکاران (Ghosh *et al*., 2006) در کشت مخلوط سویا و سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) گزارش کردند که میزان کلروفیل سورگوم در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص همواره بالاتر بوده است، آنها علت این امر را به سایه‌اندازی این دو گیاه روی همدیگر و نیتروژن تثبیت شده توسط سویا نسبت دادند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، باعث افزایش میزان کلروفیل در هر دو گیاه ارزن و سویا شده که به‌دنبال آن سبزینگی، توانایی جذب نور خورشیدی، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت رشد و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد.

بیشترین ارتفاع بوته ارزن (۸۴ سانتی‌متر) در شرایط عدم تنش کم‌آبی و کمترین آن (۵۸ سانتی‌متر) در اثر تنش شدید کم‌آبی، مشاهده شد (جدول ۳). میزان کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش شدید کم‌آبی نسبت به عدم تنش کم‌آبی ۳۱/۰۶ درصد بود (جدول ۳).

بیشترین ارتفاع بوته سویا (۷۹ سانتی‌متر) در نسبت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) تحت شرایط عدم تنش و کمترین میزان آن (۴۵ سانتی‌متر) در تک‌کشتی سویا در شرایط تنش شدید کم‌آبی، مشاهده شد. میزان افزایش ارتفاع بوته سویا در نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) تحت شرایط عدم تنش و تنش شدید کم‌آبی در مقایسه با کشت خالص سویا به‌ترتیب معادل ۱۱/۴۸ و ۲۷/۱۸ درصد بود (شکل ۱).



شکل ۱- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر ارتفاع بوته سویا در سطوح مختلف کم‌آبیاری

Figure 1- The effect of different intercropping ratios on plant height of soybean in different levels of deficit irrigation (LSD0.05:2.97)

با توجه به الگوی رشد نامحدود سویا، به‌نظر می‌رسد که تنش کم‌آبی از طریق کاهش فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به بخش‌های فوقانی گیاه موجب کاهش ارتفاع بوته گردید. آزمایش‌های متعدد کاهش ارتفاع گیاه سویا در اثر کاهش مقدار آب مورد نیاز را نشان داده‌اند (Hea *et al*., 2017; Zheng *et al*., 2015). تنش کم‌آبی از طریق کاهش فشار تورژسانس باعث کاهش رشد و ارتفاع گیاه ارزن شد (Abdul Jaleel *et al*., 2008). همچنین، تنش کم‌آبی باعث کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در مراحل اولیه تنش می‌شود که پیامد آن کم‌شدن ذخیره کربن و کاهش رشد می‌باشد (Yordanov *et al*., 2003). نتایج مشابهی توسط سایر محققان گزارش شده است (Saghatoleslami *et al*., 2007).

ارتفاع ارزن واکنش معنی‌داری به کشت مخلوط نشان نداد (جدول ۳). باریبوتسا و همکاران (Baributsa *et al*., 2008) گزارش کردند که با افزایش تراکم در کشت مخلوط درهم ذرت و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) عملکرد هر دو گیاه افزایش یافت ولی ارتفاع ذرت در تراکم‌های مختلف تفاوت معنی‌داری نشان نداد. به‌نظر می‌رسد که عدم تأثیر معنی‌دار کشت مخلوط بر ارتفاع ارزن، پتانسیل بالای این گیاه برای سازگاری با تغییرات تراکم بوده است.

بر اساس مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که ارتفاع بوته سویا در الگوهای کشت مخلوط بیش از تک‌کشتی بود. به‌نظر می‌رسد که رقابت گیاهان بر سر نور باعث می‌شود گیاهان ماده خشک بیشتری به ارتفاع بوته خود اختصاص دهند. در واقع با افزایش تراکم ارزن، به‌دلیل رقابت برای کسب نور و منابع محیطی، ارتفاع بوته سویا افزایش یافت. به بیان دیگر، به‌نظر می‌رسد که بوته‌های ارزن به‌دلیل داشتن ارتفاع بلندتر و سایه‌اندازی روی سویا، باعث کاهش نسبت نور قرمز به قرمز دور شده و در نتیجه این امر، ارتفاع بوته سویا افزایش می‌یابد (Yang *et al*., 2014). از طرفی، با افزایش سایه‌اندازی به‌دلیل کاهش نور دریافتی توسط لایه‌های پایین کانوپی، هورمون اکسین تجزیه نشده و با افزایش غلظت اکسین، ارتفاع بوته افزایش می‌یابد (Agegnnehu *et al*., 2006). به‌نظر می‌رسد تأمین بهتر آب در کشت مخلوط و استفاده کارآمد از آن، عامل افزایش ارتفاع سویا باشد. ردفیارن وهمکاران (Redfearn *et al*., 1999) بیان داشتند افزایش ارتفاع بوته سویا در کشت مخلوط با سورگوم به‌دلیل سایه‌اندازی توسط گیاه بلندتر و در اثر افزایش طول میان‌گره‌ها است. بنابراین با جایگزین شدن ارزن، به‌دلیل رقابت برای کسب نور و منابع محیطی، ارتفاع سویا افزایش یافت.

عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات کم‌آبیاری، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و اثرات متقابل آن‌ها بر تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه ارزن معمولی معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین وزن هزار دانه تحت تأثیر اثرات کم‌آبیاری در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴).

بیشترین وزن هزار دانه ارزن (۵/۶۸ گرم) تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی به‌دست آمد هرچند که اختلاف آماری با تنش متوسط کم‌آبی نداشت (شکل ۲).

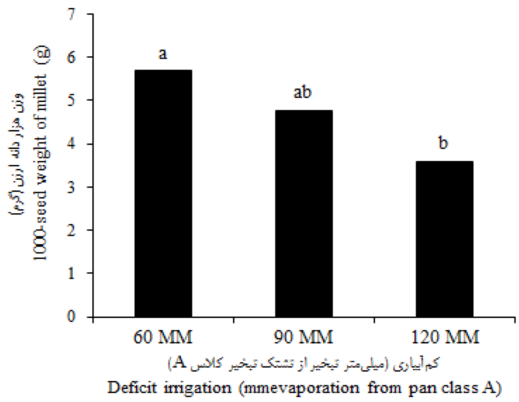
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارزن معمولی

Table 4- Analysis of variance (mean squares) of the effect of different intercropping ratios and deficit irrigation on grain yield and yield components of common millet

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per panicle	وزن هزار دانه 1000-seeds weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	0.283^{ns}	1301^{ns}	2.239^{ns}	428862*	671^{ns}	97.12*
کم آبیاری Deficit irrigation	2	9.657**	16189*	13.207*	8288713**	1112682**	0.51^{ns}
خطای اصلی Error a	4	0.249	1104	1.430	38091	2190	6.98
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	3	4.423**	11854**	0.008^{ns}	9515889**	1175493**	4.18^{ns}
کم‌آبیاری× نسبت‌های کشت مخلوط Deficit irrigation × Intercropping ratios	6	0.969**	3250*	0.004^{ns}	308098**	35737**	1.24^{ns}
خطای فرعی Error b	18	0.147	132	0.272	9572	1829	3.87
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.11	11.11	11.15	13.69	4.39	9.30

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: not significant



شکل ۲- اثر کم‌آبیاری بر وزن هزار دانه ارزن معمولی

Figure 2- The effect of deficit irrigation on 1000- seeds weight of common millet (LSD$_{0.05}$: 1.36)

وجود شرایط تنش کم‌آبی و کاهش آب خاک در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش ساخت و انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها می‌شود که در نتیجه طول دوره پر شدن دانه‌ها کاهش یافته و مهمترین تأثیر بارز آن بر روی کاهش وزن هزار دانه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد می‌باشد (Yadav and Bhatnagar, 2001). کاهش وزن هزار دانه ارزن در تنش شدید کم‌آبی را می‌توان به کمتر بودن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از مرحله گلدهی در اندام‌های رویشی که در نتیجه دوره پر شدن دانه‌ها را کوتاه می‌نماید، نسبت داد.

ثقه‌الاسلامی و همکاران (Saghatoleslami *et al.*, 2007) در بررسی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد، بر عملکرد و بازده استفاده از آب پنج ژنوتیپ ارزن معمولی نشان دادند که تنش خشکی در مرحله ظهور خوشه باعث بیشترین کاهش تعداد دانه در خوشه و کاهش وزن هزار دانه گردید.

بیشترین تعداد خوشه در بوته (۵/۳۳ خوشه در بوته) در نسبت‌های (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) در شرایط عدم تنش کم‌آبی به‌دست آمد و کمترین تعداد خوشه در

بوته ارزن (۲/۸۶ خوشه در بوته) در کشت خالص ارزن تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی مشاهده شد (جدول ۵).

نسبت‌های کشت (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن)، (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) در شرایط عدم تنش کم‌آبی، بیشترین تعداد دانه در خوشه ارزن را دارا بودند و کشت خالص ارزن در شرایط تنش شدید کم‌آبی، کمترین تعداد دانه در خوشه را به خود اختصاص داد (جدول ۵).

جدول ۵- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر اجزای عملکرد دانه ارزن معمولی در سطوح مختلف کم‌آبیاری

Table 5- The effect of different intercropping ratios on grain yield and yield components of common millet in different levels of deficit irrigation

کم‌آبیاری Deficit irrigation*	نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios**	تعداد خوشه در بوته Number of panicles per plant	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per panicle
60	0S:100M	322[b]	5.33[b]
	33S:67M	344[a]	5.33[b]
	50S:50M	347[a]	6.00[a]
	67S:33M	356[a]	6.56[a]
90	0S:100M	246[f]	4.09[de]
	33S:67M	267[de]	4.49[cd]
	50S:50M	289[c]	5.31[b]
	67S:33M	286[cd]	4.83[bc]
120	0S:100M	214[g]	2.86[g]
	33S:67M	237[f]	3.31[fg]
	50S:50M	249[ef]	5.78[ef]
	67S:33M	255[ef]	3.61[ef]
LSD (0.05)		19	0.66

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05)

*: میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A

**: تک‌کشتی سویا؛ ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن، ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن؛ ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن؛ تک‌کشتی ارزن

*: MM evaporation from pan class A

**: 100S:0M; 67S:33M; 50S:50M; 33S:67M; 0S:100M

تعداد خوشه در گیاه قبل از مرحله گلدهی تعیین می‌شود. از آن‌جایی که در تیمار تنش کم‌آبی، اعمال کم‌آبی پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه شروع شده و تا انتهای دوره رشد ادامه یافت، لذا تعداد خوشه در بوته نیز بر اثر کاهش پنجه‌زنی، کاهش یافت (جدول ۵). تحقیقات نشان می‌دهد که، تنش کم‌آبی ضمن کاهش سطح برگ، پیری آن‌ها را تسریع نموده و بدین وسیله می‌تواند تولید گیاه را خیلی بیشتر از آن‌چه که به‌علت اثرات ناشی از کاهش شدت فتوسنتز خالص تقلیل می‌یابد، کاهش دهد و در نتیجه گیاه تعداد خوشه کمتری به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزی و به‌دنبال آن کاهش مواد و منابع فتوسنتزی، تولید می‌کند. نتایج حاصل از تحقیقات ثقه‌الاسلامی و همکاران (Saghatoleslami *et al.*, 2007) روی ارزن، موید این مطلب بوده است.

بوته‌های ارزن در نسبت‌های (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) رقابت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای کمتری با یکدیگر و با بوته‌های سویا در مقایسه با کشت خالص داشته و در نتیجه از منابع رشدی مانند آب به‌نحو مطلوب‌تری استفاده کرده و مواد فتوسنتزی بیشتری را به مخازن به‌ویژه خوشه‌ها اختصاص دادند (جدول ۵).

تنش کم‌آبی از طریق ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی لازم برای پر کردن دانه‌ها، تعداد دانه در خوشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احتمالاً کمبود آب از طریق کاهش قدرت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی، منجر به کاهش تعداد گلچه‌های بارور و در نتیجه کاهش تعداد دانه در خوشه می‌شود. همچنین، کاهش تعداد دانه در خوشه می‌تواند ناشی از کاهش طول خوشه باشد (Yadav and Bhatnagar, 2001).

به‌نظر می‌رسد که ارزن در کشت مخلوط، از عوامل رشد نظیر نیتروژن و آب بهره‌برداری بیشتری کرده که این عوامل در نهایت، موجب بهبود اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در خوشه آن به‌دلیل بهبود راندمان مصرف آب و مواد غذایی در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهندهٔ معنی‌دار بودن تأثیر کم‌آبیاری بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن صد دانه، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه سویا معنی‌دار بود. تأثیر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه سویا معنی‌دار گردید. همچنین، اثرات متقابل تیمارها بر عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه سویا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه سویا

Table 6- Analysis of variance (mean squares) of the effect of different intercropping ratios and deficit irrigation on grain yield and yield components of soybean

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن صد دانه 100- seed weight	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	5.73^ns	0.029^ns	1.04^ns	147888^ns	27310*	13.00^ns
کم آبیاری Deficit irrigation	2	517.22**	2.773**	37.84**	12077865**	1764360**	14.95^ns
خطای اصلی Error a	4	1.81	0.124	1.70	100905	3523	5.86
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	3	6.51**	0.187**	0.54^ns	15988063**	2121292**	4.25^ns
کم‌آبیاری× نسبت‌های کشت مخلوط Deficit irrigation × Intercropping ratios	6	0.10^ns	0.027^ns	0.70^ns	637923**	88507**	4.09^ns
خطای فرعی Error b	18	1.25	0.036	0.70	41637	1795	3.70
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.98	8.11	7.13	6.5	3.8	5.39

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels, respectively. ns: not significant

تنش کم‌آبی موجب کاهش معنی‌دار تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه سویا در مقایسه با شرایط عدم تنش کم‌آبی شد (جدول ۷). تنش شدید کم‌آبی، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صد دانه سویا را به‌ترتیب به‌میزان ۵۰/۵۸، ۳۳/۶۸ و ۲۶/۰۹ درصد نسبت به عدم تنش کم‌آبی کاهش داد (جدول ۷).

تعداد غلاف در بوته سویا در همه نسبت‌های کشت مخلوط بالاتر از کشت خالص سویا بود (جدول ۷). میزان افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در نسبت‌های (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن)، (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۳۳ درصد سویا: ۶۷ درصد ارزن) در مقایسه با تیمار کشت خالص سویا، به‌ترتیب معادل ۶/۳۸، ۱۱/۶۳ و ۷/۷۵ درصد بود (جدول ۷).

بیشترین تعداد دانه در غلاف در نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) به‌دست آمد که ۱۳/۷۸ درصد بیشتر از تعداد دانه در غلاف در کشت خالص سویا بود (جدول ۷).

در شرایط تنش کم‌آبی با توجه به کاهش میزان آب خاک از میزان گل‌های تبدیل‌شده به غلاف کاسته شد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که علت کاهش تعداد غلاف در گیاه با افزایش شدت تنش کم‌آبی ناشی از ریزش گل و غلاف می‌باشد. افزایش شدت تنش کم‌آبی، موجب کاهش فتوسنتز گیاه و در نتیجه کاهش تولید مواد اسیمیلاتی در گیاه شده، به‌طوری که در زمان گلدهی و نمو غلاف، باعث کاهش تعداد غلاف در گیاه و تعداد دانه در غلاف گردید. دانشیان و همکاران (Daneshian *et al.*, 2011) گزارش کردند که تنش کم‌آبی طی گلدهی و آغاز تشکیل غلاف، تعداد غلاف را در سویا به‌مقدار زیادی کاهش داد. کراسوا وید و همکاران (Krasova-Wade *et al.*, 2006) کاهش ۷۴ تا ۸۹ درصدی تعداد غلاف در بوته سویا را در اثر اعمال تنش کم‌آبی گزارش نمودند.

جدول ۷- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و کم‌آبیاری بر اجزای عملکرد دانه سویا

Table 7- The effect of different intercropping ratios and deficit irrigation on grain yield components of soybean

آبیاری Deficit irrigation *	تعداد غلاف در بوته Number of pods pet Plant	تعداد دانه در غلاف Number of seed per pod	وزن صد دانه 100- seed weight (g)
60	25.64[a]	2.85[a]	13.57[a]
90	17.78[b]	2.31[b]	11.60[b]
120	12.60[c]	1.89[c]	10.03[c]
LSD (0.05)	1.53	0.40	1.48
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios**			
100S:0M	17.54[b]	2.25[b]	12.02[a]
67S:33M	18.66[a]	2.45[b]	11.50[a]
50S:50M	19.58[a]	2.56[a]	11.57[a]
33S:67M	18.90[a]	2.34[b]	11.85[a]
LSD (0.05)	1.11	0.19	0.83

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

Means followed by the same letters in each column are not significantly different according to Least Significant Difference (LSD) test (P<0.05)

*: میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A

**: تک‌کشتی سویا؛ ۳۳ درصد سویا+ ۶۷ درصد ارزن، ۵۰ درصد سویا+ ۵۰ درصد ارزن؛ ۶۷ درصد سویا+ ۳۳ درصد ارزن؛ تک‌کشتی ارزن

*: MM evaporation from pan class A

**: 100S:0M; 67S:33M; 50S:50M; 33S:67M; 0S:100M

تعداد غلاف در بوته مهمترین و تأثیرگذارترین جزء عملکرد در سویا می‌باشد. افزایش تعداد غلاف در بوته سویا در کشت مخلوط می‌تواند به‌دلیل کاهش رقابت درون‌گونه‌ای باشد. در این زمینه مظاهری و همکاران (Mazaheri *et al*., 2002) گزارش کردند که با افزایش تراکم، تعداد غلاف در بوته سویا به علت رقابت درون‌گونه‌ای به‌شدت کاهش یافته است. بنابراین به‌نظر می‌رسد که نسبت کاشت (۵۰ سویا: ۵۰ ارزن) با ایجاد ساختار کانوپی موجی و وجود فضای مناسب در الگوهای مختلف کشت مخلوط، سبب استفاده بهینه از عوامل محیطی و در نتیجه افزایش تعداد غلاف در بوته شده است که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت (Egli and Bruening, 2005).

کاهش تعداد دانه در غلاف تحت شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند ناشی از محدودیت در اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی در افزایش وزن خشک یا فاکتورهای شکل‌گیری دانه باشد که در نتیجه تعداد دانه در غلاف را کاهش می‌دهد. کاهش تعداد دانه در غلاف در تنش کم‌آبی می‌تواند به‌دلیل افزایش پوکی غلاف بر اثر کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی باشد. توماس و همکاران (Thomas *et al*., 2003) مشاهده کردند که اعمال تنش کم‌آبی در مرحله زایشی از طریق کاهش نرخ گل‌انگیزی و ریزش گل‌ها و غلاف‌ها منجر به سقط و کاهش ۳۷ درصدی تعداد دانه در غلاف می‌شود.

نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) هم از نظر تعداد غلاف در بوته و هم از نظر تعداد دانه در بوته از سایر تیمارهای کشت مخلوط بالاتر بود. از این نظر قابل توجیه است که کشت ردیفی یک در میان به‌خاطر عدم حضور گیاهان هم نوع در ردیف‌های مجاور، کمترین رقابت درون‌گونه‌ای را ایجاد می‌کند. در این زمینه جهانی و همکاران (Jahani *et al*., 2008) افزایش معنی‌دار تعداد دانه در غلاف عدس (*Lens culinaris* Medikus.) و مخلوط زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را نسبت به تک‌کشتی آن گزارش نمودند. در این مطالعه رقابت درون‌گونه‌ای در کشت خالص بر روی تعداد دانه در غلاف اثر گذاشته و با افزایش رقابت درون‌گونه‌ای از تعداد دانه در واحد سطح کاسته شد. تعداد غلاف در بوته سویا در کشت مخلوط سویا و نعناع (*Mentha piperita* L.) بالاتر از کشت خالص سویا بود و عامل اصلی تعداد دانه بالاتر در بوته تعداد غلاف بالاتر گزارش گردید (Maffei and Mucciarelli, 2003).

مطالعات نشان داده است که مرحله نموی شروع غلاف‌دهی تا دانه‌بندی کامل، در تعیین وزن صد دانه سویا بیشترین تأثیر را دارد. تنش کم‌آبی در این مرحله با کاهش حرکت مواد ذخیره‌ای به دانه به علت محدودیت آب و یا با کاهش سهم فتوسنتز جاری برگ‌ها در پر شدن دانه و وزن صد دانه سویا اثر می‌گذارد (Chaves *et al*., 2002).

عملکرد بیولوژیکی سویا و ارزن معمولی

با اعمال تنش کم‌آبی عملکرد بیولوژیکی ارزن و سویا کاهش یافت (شکل ۳). میزان کاهش عملکرد بیولوژیکی ارزن و سویا تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی در مقایسه با عدم تنش کم‌آبی به‌ترتیب ۴۸/۲۱ و ۴۸/۷۱ درصد بود (شکل ۳).

در شرایط عدم تنش کم‌آبی، در نسبت‌های کاشت (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) عملکرد بیولوژیکی ارزن به‌ترتیب ۱۷/۲ و ۱۵/۶ درصد بیشتر از عملکرد بیولوژیکی مورد انتظار ارزن در آن نسبت کاشت بود (شکل ۳ الف). این روند در شرایط تنش کم‌آبی هم مشاهده شد (شکل ۳ ب). در شرایط تنش شدید کم‌آبی عملکرد بیولوژیکی ارزن در نسبت (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۹ و ۲۲/۵ درصد از عملکرد بیولوژیکی مورد انتظار ارزن در آن نسبت کاشت بیشتر بود، که این نتیجه بیانگر این است که کشت مخلوط در شرایط تنش کم‌آبی، تأثیر مثبتی داشت (شکل ۳ ج). در شرایط تنش کم‌آبی، کشت مخلوط منجر به افزایش عملکرد بیولوژیکی واقعی سویا شد. تحت تأثیر تنش شدید کم‌آبی، در نسبت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) عمکرد بیولوژیکی واقعی سویا حدود ۹/۵ درصد در مقایسه با عملکرد مورد انتظار سویا در این نسبت کشت افزایش یافت (شکل ۳ ج). در شرایط عدم تنش کم‌آبی، در تمام نسبت‌های مختلف کشت مخلوط، عملکرد بیولوژیکی واقعی سویا تقریباً مشابه عملکرد بیولوژیکی مورد انتظارسویا بود (شکل ۳ الف).

کاهش میزان عملکرد بیولوژیکی سویا در طی تنش کم‌آبی می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به اندام هوایی گیاه باشد. ثقه‌الاسلامی و همکاران (Saghatoleslami *et al*., 2007) نیز گزارش کردند که علمکرد ماده خشک ارزن مرواریدی در شرایط تنش متوسط، ۲۸ درصد کاهش می‌یابد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

گیاهان ارزن و سویا در نسبت‌های کشت مخلوط به‌دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی در نحوه استفاده از منابع محیطی به‌حالت مکملی مثبت عمل کرده‌اند، بنابراین عملکرد بیولوژیکی آن‌ها به‌دلیل استفاده بهتر از منابع، افزایش یافته است. در مجموع دلایل افزایش عملکرد بیولوژیکی در کشت مخلوط ارزن و سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به‌علت متفاوت‌بودن سیستم ریشه‌ای دو گیاه دانست.

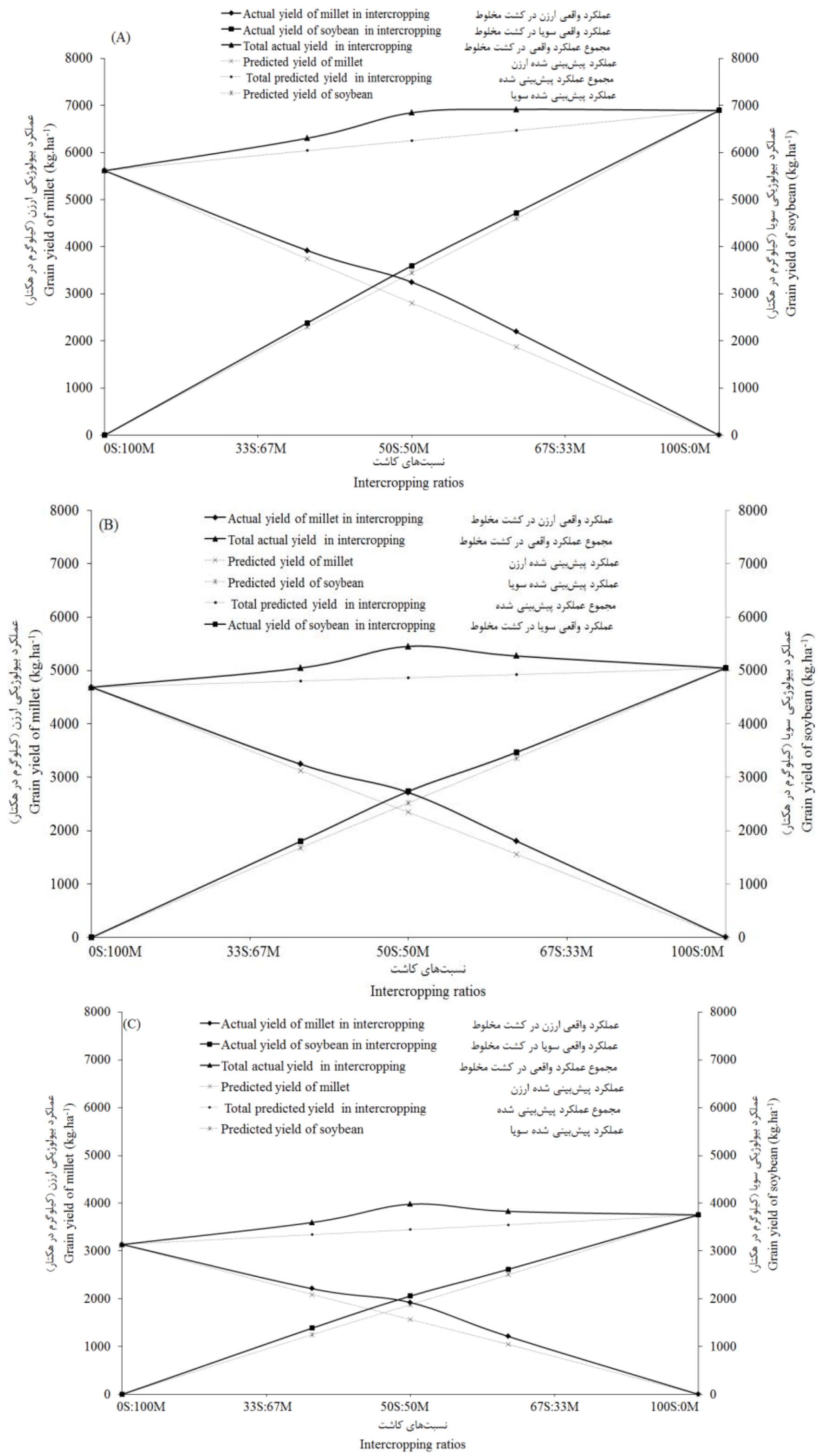
عملکرد دانه ارزن معمولی و سویا

بررسی عملکرد دانه ارزن و سویا در کشت خالص و مخلوط از طریق روش جایگزینی در شکل ۴ نشان داده شده است. تنش شدید کم‌آبی، عملکرد دانه ارزن و سویا را در کشت خالص به‌ترتیب ۴۶/۸ و ۵۰/۰۵ درصد کاهش داد (شکل ۴).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی عملکرد دانه واقعی ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بیشتر از عملکرد مورد انتظار آن بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی ارزن در نسبت‌های (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) به‌دست آمد که ۲۱/۸ و ۲۰/۶ درصد بیشتر از عملکرد مورد انتظار ارزن در این نسبت‌های کاشت بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی سویا در نسبت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) مشاهده گردید که ۵/۱ درصد بیشتر از عملکرد مورد انتظار سویا در نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) بود (شکل ۴ الف). تحت شرایط تنش متوسط کم‌آبی، بیشترین عملکرد دانه واقعی ارزن در نسبت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) و (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) به‌دست آمد که به‌ترتیب ۱۸/۱ و ۲۰/۲ درصد بیشتر از عملکرد دانه مورد انتظار ارزن در این نسبت‌های کاشت بود. بیشترین عملکرد دانه واقعی سویا در نسبت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) به‌دست آمد که ۶/۷ درصد بیشتر از عملکرد دانه مورد انتظار سویا بود (شکل ۴ ب). تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی عملکرد دانه ارزن در نسبت‌های (۶۷ درصد سویا: ۳۳ درصد ارزن) و (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) نسبت به عملکرد مورد انتظار به‌ترتیب ۲۰/۴ و ۱۹/۷ درصد افزایش نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که در نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن)، عملکرد دانه سویا ۱۱/۴ درصد افزایش یافت (شکل ۴ ج).

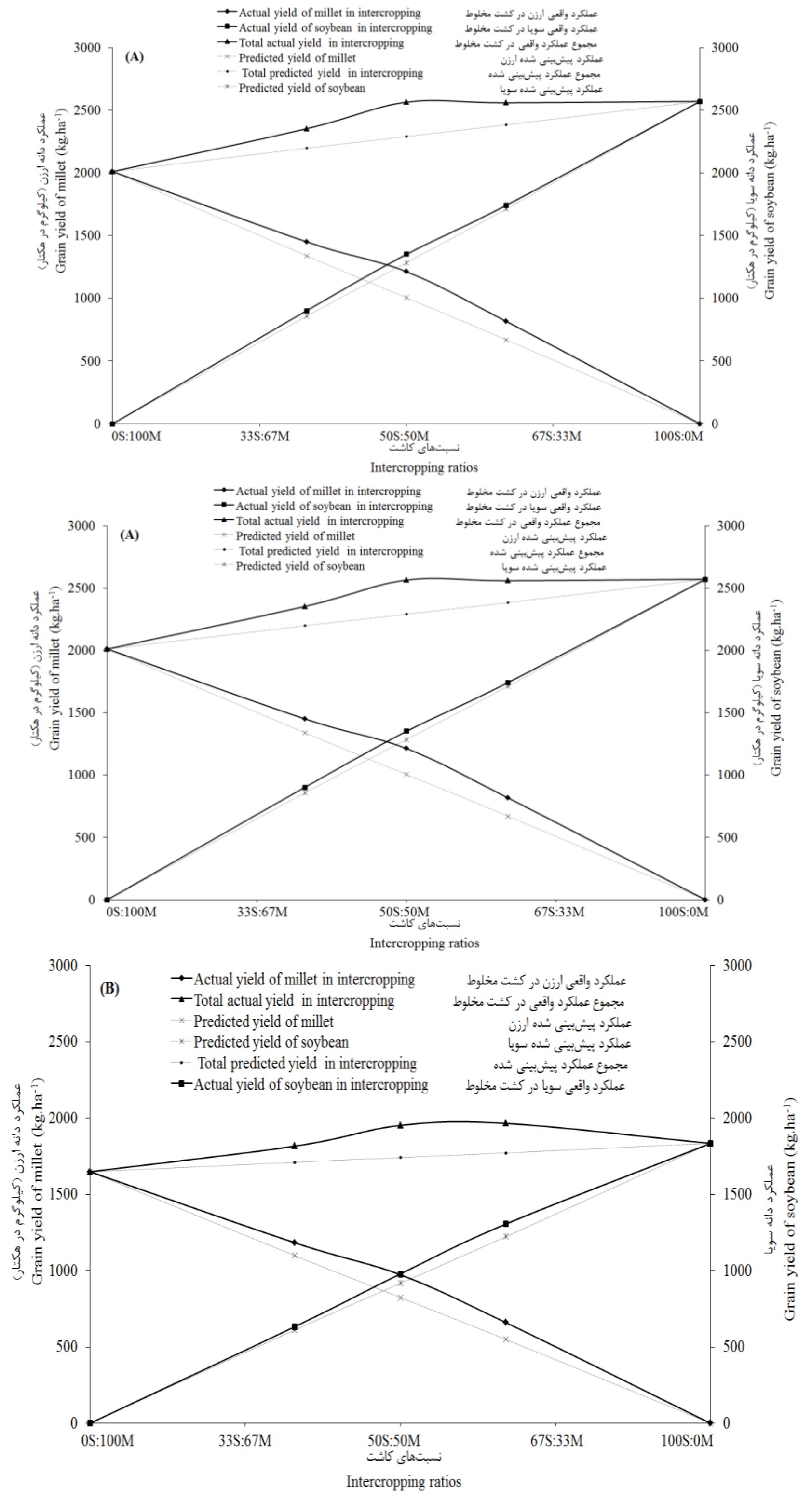
با اعمال تنش کم‌آبی عملکرد دانه ارزن و سویا کاهش یافت. محققین بسیاری کاهش علمکرد دانه سویا را در شرایط تنش کم‌آبی گزارش کرده‌اند (Daneshian *et al*., 2011; Zheng *et al*., 2015). دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه، کاهش سرعت فتوسنتز و پیر شدن سریع برگ‌ها، کاهش قدرت منبع و کاهش قدرت مخزن، عنوان شده است. کاهش عملکرد دانه ارزن در شرایط تنش کم‌آبی به‌دلیل عدم‌گسترش و تدوام مناسب سطح برگ بود که موجب کاهش استفاده هرچه بیشتر از نور دریافتی و تولید ماده خشک و اختصاص آن به دانه شد. این نتایج مطابق با یافته‌های بسیاری از محققان در زمینه کاهش عملکرد دانه ارزن تحت تأثیر شرایط تنش کم‌آبی بود (Yadav *et al*., 2002; Saghatoleslami*et al*., 2007). یادو و باتناگار (Yadav and Bhatnagar, 2001) با بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد ۳۰ رقم ارزن، بیان کردند که متوسط عملکرد دانه ارزن ۷۲ درصد نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت.

افزایش تولید کشت مخلوط ارزن و سویا در مقایسه با تک‌کشتی آن‌ها را می‌توان به کاهش رقابت درون‌گونه‌ای و تفاوت در ساختار ریشه این گیاهان در استفاده مطلوب از شرایط محیطی نسبت داد. کشت گیاه ارزن با ریشه‌های سطحی و افشان در مجاورت گیاهان که دارای ریشه‌های عمیق می‌باشد باعث می‌شود که ریشه این گیاهان در طبقات مختلف خاک پراکنده شده و در مجموع آب و مواد غذایی بیشتری از یک حجم معینی از خاک جذب گردد.



شکل ۳- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد بیولوژیکی سویا و ارزن تحت شرایط عدم تنش (الف)، تنش متوسط کم‌آبی (ب) و تنش شدید کم‌آبی (ج)

Figure 3- The effect of different intercropping ratios on the biological yield of soybean and millet under well-watered (A), mild stress (B) and severe deficit irrigation (C)



شکل ٤- اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد دانه سویا و ارزن تحت شرایط عدم تنش (الف)، تنش متوسط کم‌آبی (ب) و تنش شدید کم‌آبی (ج)

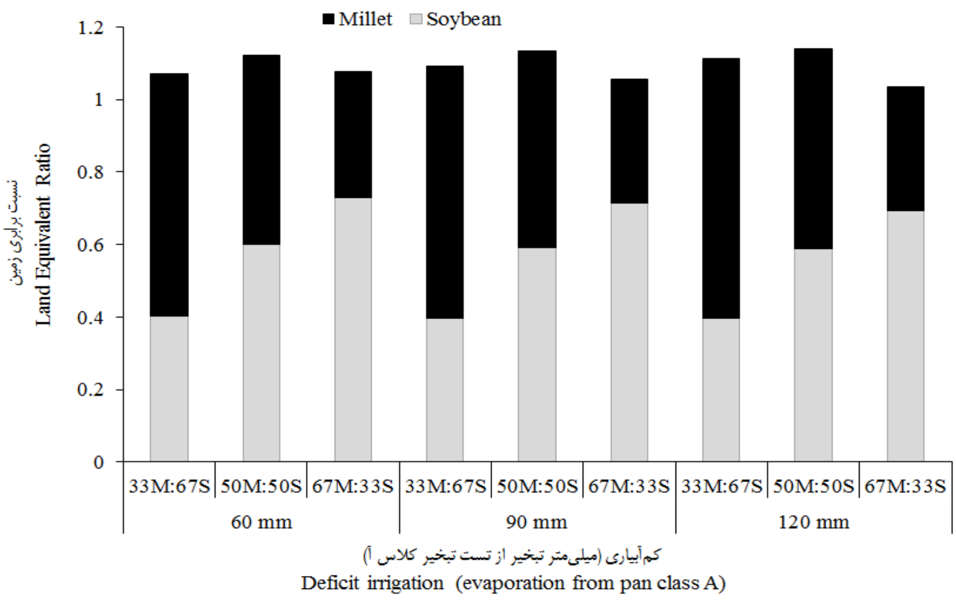
Figure 4- The effect of different intercropping ratios on the grain yield of soybean and millet under well-watered (A), mild stress (B) and severe deficit irrigation (C)

بنابراین، چنین می‌توان استنباط کرد که کشت مخلوط ارزن و سویا از طریق تعادل و هماهنگی بین رطوبت و بهبود تغذیه گیاه به‌وسیله نیتروژن تثبیت‌شده توسط سویا، باعث افزایش عملکرد در مقایسه با کشت خالص شده است. در مطالعات بسیاری، برتری کشت مخلوط بر تک‌کشتی‌نشان داده شده است (Daneshniaa *et al.*, 2016; Lithourgidis *et al.*, 2011). به‌نظر می‌رسد که در کشت مخلوط به‌دلیل سیستم ریشه‌ای متفاوت ارزن و سویا، این دو گیاه از عناصر غذایی موجود در اعماق مختلف خاک، بهتر استفاده کرده و عملکرد نسبی بهتری را نسبت به کشت خالص نشان دادند. آجینهو و همکاران (Agegnnehu *et al.*, 2006) در بررسی کشت مخلوط جو و باقلا، افزایش عملکرد نسبی دو گونه را در کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی دو گیاه گزارش کردند. لیتوروجیدس و همکاران (Lithourgidis *et al.*, 2011) با مقایسه تک‌کشتی و کشت مخلوط نخود فرنگی با گندم و چاودار به مدت دو سال، گزارش کردند کشت مخلوط در تمامی تیمارها دارای عملکرد بالاتری در بهره‌برداری از منابع محیطی موجود در مقایسه با تک‌کشتی بوده است و بیشترین عملکرد در کشت مخلوط ۸۰ درصد نخود فرنگی و ۲۰ درصد گندم حاصل شده است.

در ارزیابی کشت مخلوط از نظر اثرات متقابل بر روی عملکرد دو گیاه، می‌توان نتیجه گرفت که ارزن تحت شرایط کشت مخلوط اثرات مثبتی از سویا پذیرفته است، چون که افزایش عملکرد آن بیش از عملکرد مورد انتظار بوده است، اما عملکرد سویا، تقریباً روند مشابهی با عملکرد مورد انتظار داشت (شکل ۴). به این معنی که اثرات مثبت کمتری از کشت مخلوط با ارزن پذیرفته است. دلیل این امر را می‌توان به غالبیت نسبی گیاه ارزن در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و استفاده بهتر آن از شرایط محیطی نسبت داد. با توجه به این‌که عملکرد واقعی گیاهان ارزن و سویا در کشت مخلوط بیشتر از میزان مورد انتظار بوده، بر اساس، طبقه‌بندی تأثیر رقابت در زراعت مخلوط، می‌توان اظهار داشت که نوع تداخل دو گیاه در کشت مخلوط از نوع سودبری دو جانبه بوده است.

نسبت برابری زمین

نتایج نشان داد که در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط ارزن و سویا در همه سطوح کم‌آبیاری، نسبت برابری زمین بیشتر از یک بود که این امر نشان‌دهنده سودمندی اجرای این نسبت‌های کشت مخلوط در افزایش بهره‌وری از منابع می‌باشد. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین به میزان ۱/۱۴ در نسبت کاشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی به‌دست آمد، این بدان معنی است که کشت خالص هر گیاه نیاز به ۱۴ درصد زمین بیشتری نسبت به کشت مخلوط دارد تا عملکرد برابر آن را تولید کند و این مطالعه بیانگر کارآیی بیشتر استفاده از زمین در سیستم کشت مخلوط ارزن و سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی است. تحت شرایط عدم تنش کم‌آبی نیز بیشترین نسبت برابری زمین ۱/۱۲ در ترکیب (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) به‌دست آمد که معادل ۱۲ درصد افزایش سودمندی زراعی نسبت به کشت خالص دو گونه بود (شکل ۴).



شکل ۵- نسبت برابری زمین در نسبت‌های کشت مخلوط سویا و ارزن در سطوح مختلف کم‌آبیاری

Figure 5- Land equivalent ratio in intercropping ratios of soybean and millet in different levels deficit irrigation

محققین دیگر نیز افزایش نسبت برابری زمین را در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص گزارش کرده‌اند (Lithourgidis *et al*., 2011; Rezaei*et al*., 2011). تفاوت در ریشه‌دهی و ساختار کانوپی ارزن با سویا و در نتیجه ایجاد لایه‌های مختلف و استفاده بهتر از منابع از جمله نور و مواد غذایی در عمق‌های مختلف خاک، می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگ‌تر باشد که نشان می‌دهد در کشت مخلوط، ارزن و سویا مکمل هم بوده‌اند. اختلافات مورفولوژیکی غلات و بقولات و در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از آب و یا استفاده از آب در افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگتر از یک تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد.

نتیجه‌گیری

تنش کم‌آبی غلظت کلروفیل، ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد ارزن و سویا را کاهش داد. نسبت‌های مختلف کشت مخلوط سویا و ارزن مقدار کلروفیل برگ ارزن و سویا را افزایش دادند. بهترین نسبت کاشت برای به‌دست آوردن حداکثر عملکرد دانه ارزن و سویا نسبت کشت (۵۰ درصد سویا: ۵۰ درصد ارزن) بود. تفاوت در ریشه‌دهی ارزن و سویا و استفاده بهتر از آب در عمق‌های مختلف خاک و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌تواند دلیل بالا بودن عملکرد ارزن و سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی باشد که نشان می‌دهد در کشت مخلوط، ارزن و سویا مکمل هم بوده‌اند.

References

1. Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Lakshamanan, G. M., Gomathinayagam, M., and Panneerselvam, R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. Colloids and surfaces B: Biointerfaces 61: 298-303.
2. Aboutalebian, M. A., and Khalili, M. 2014. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and *Rhizobium japonicum* on yield and yield componentsof soybean under water stress. Iranian Journal of Agronomy Science 45 (2): 169-181. (in Persian with English abstract).
3. Agegnnehu, G., Ghizaw, A., and Sinebo, W. 2006. Yield performance and land use efficiency of barley and faba bean mixed cropping in Etthiopian highlands. European Journal of Agronomy 25: 202-207.
4. Allahdadi, M., Shakiba, M. R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Amini, R. 2013. Evaluation of competition, yield quantity and quality of soybean (*Glycine max* L.) Merrill.) and calendula (*Calendula officinalis* L.) in intercropping systems. Journal of Agroecology 7 (1): 38-51. (in Persian with English abstract).
5. Allen, R.G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
6. Arnon, I. 1975. Physiological Principles of Dry Land Crop Production. Physiological Aspects of Dryland Farming. US Gupta, ed. Oxfrd Press.
7. Azizi, E., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri-Mahallati, N. 2015. Interaction of nutrient resource and crop diversity on resource use efficiency in different cropping systems. Journal of Agroecology 7 (1): 1-19. (in Persian with English abstract).
8. Bagheri Shirvan, M., Zaefarian, F., Bicharanlou, B., and Asadi, G.A. 2014. Evaluation of replacement intercropping of soybean (*Glycine max* L.) with sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) and borage (*Borago officinalis* L.) under weed infestation. Journal of Agroecology 6 (1): 70-83. (in Persian with English abstract).
9. Baributsa, D. N., Foster, E. F., Thelen, K., Kravchenko, D. R., and Ngouajio, M. 2008. Corn and cover crop response to corn density in an interseeding system. Agronomy Journal 100: 981-987.
10. Chaves, M. M., Maroco, J. P., Periera, S., Rodrigues, M. L., Ricarddo, C. P., Osorio, M. L., Carvalho, I., Faria, T., and Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. Annals of Botany 98: 907-916.
11. Daneshniaa, F., Amini, A., and Chaichi, M. R. 2016. Berseem clover quality and basil essential oil yield in intercropping system under limited Irrigation treatments with surfactant. Agricultural Water Management 164: 331-339.
12. Daneshian, J., Jonoubi, P., and Barari Tari, D. 2011. Investigation of water deficit stress on agronomical traits of soybean cultivars in temperate climate. World Academy of Science Engineering and Technology 75: 778-785.
13. Egli, D. B., and Bruening, W. P. 2005. Shade and temporal distribution of pod production and set in soybean. Crop Science 45: 1764-1769.
14. Food and Agriculture Organization. 2010. Biodiversity: Agricultural biodiversity in FAO. Retrieved April 13, 2010, from http://www.fao.org/biodiversity.
15. Ghosh, P. K. 2004. Growth, yield, competition of groundnut cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research 88: 227-237.

16. Ghosh, P. K., Manna, M., Bandyopadhyay, K., Ajay, A., Tripathi, A., Wanjari, R. H., Hati, K. M., Misra, A. K., Acharya, C. L., and Subba Rao, A. 2006. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system. Agronomy Journal 98: 1097-1108.
17. Ghosh, P. K., Tripathi, A. K., Bandyopadhyay, K. K., and Manna, M. C. 2009. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system. European Journal of Agronomy 31: 43-50.
18. Hea, H., Lei, Y., Tao, D., Neil, W., Turnerb, C., Yangc, R., Jina, Y., Xi, Y., Zhanga, C., Cui, T., Fanga, X., and Li, F. 2017. Conserved water use improves the yield performance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) under drought. Agricultural Water Management 179: 236-245.
19. Jahani, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2008. Comparison of different intercropping arrangements of cumin (*Cuminum cyminum* L.) and lentil (*Lens culinaris* M.). Iranian Journal of Field Crops Research 6 (1): 67-78. (in Persian with English abstract).
20. Khajehpour, M. 2007. Principle of Agronomy. Industrial University of Esfahan Publication. (in Persian).
21. Krasova Wade, T., Diouf, O., Ndoye, I., Sall, C. E., Braconier, S., and Neyra, M. 2006. Water-condition effects on rhizobia competition for cowpea nodule occupancy. African Journal of Biotechnology 5 (16): 1457-1463.
22. Lin, C. W., Chen, Y. C., Huang, J., and Tu, T. 2007. Temporal variation of plant height, plant cover and leaf area index in intercropped area of Sichuan, China. Chinese Journal of Ecology 26: 989-994.
23. Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A., and Damalas, C. A. 2011. Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea cereal intercropping systems. European Journal of Agronomy 34: 287-294.
24. Maffei, M., and Mucciarelli, A. 2003. Essential oil yield in peppermint/soybean strip intercropping. Field Crops Research 84: 229-240.
25. Mahajan, S., and Toteja, N. 2005. Cold, salinity and drought stress. An overview archives in biochemistry and biophysics. Annals of Botany 444: 139-458.
26. Mazaheri, D., Pasarive, S., and Peyghambari, A. 2002. Study and investigation growth analysis in monoculture and multicultural of soybean cultures. Journal of Pajouhesh and Sazandegi 54: 37-54. (in Persian with English abstract).
27. Mohsenabadi, G., Jahansooz, M. R., Chaichi, M. R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghati A. M., and Savaghebi, G. R. 2008. Evaluation of barley-vetch intercrop at different nitrogen rates. Journal of Agriculture Science Technology 10: 23-31.
28. Pour Golestani, H., Esmaeili, M., Moghadam, A., and sattarian, A. 2015. Study of pasture species in intercropping and monoculture in semi-arid of gonbade- kavous. Journal of Desert Ecosystem 8 (4): 93-102. (in Persian with English abstract).
29. Rajasekar, M., Rabert, G. A., and Manivannan, R. 2016. The effect of triazole induced photosynthetic pigments and biochemical constituents of *Zea mays* L. (Maize) under drought stress. Applied Nanoscience 6: 727-735.
30. Redfearn, D. D., Dwayne, R. B., and Devine, T. E. 1999. Sorghum intercropping effects on yield, morphology, and quality of forage soybean. Crop Science 39: 1380-1384.
31. Rezaei, R., Rezvani Moghaddam, P., Khazaei, H. R., and Mohammad Abadi, A. 2011. Effects of planting patterns (mixed and intercropping) and millet plant density on yield and forage yield components of millet and soybean under Mashhad weather conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 9 (1): 50-59. (in Persian with English abstract).
32. Rezaei-Chiyaneh, E. 2016. Evaluation of quantitative and qualitative traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.) and basil (*Ocimum basilicum* L.) in different intercropping patterns with bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 8 (2): 263-280. (in Persian with English abstract).
33. Saghatoleslami, M., Haravan, M., Nourmohmadi, G., and Darvish, F. 2007. Effect of drought stress in growth different stages on yield and water use efficiency of five millet genotypes in South Khorasan. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 11: 215-225.
34. Sanjani, S., Hosseini, M. B., Chaichi, M. R., and Rezvan beydokhti, S. 2011. Evaluation of yield and yield components in additive intercropping of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under complete and limited irrigation conditions. Journal of Agroecology 3 (1): 25-35. (in Persian with English abstract).
35. Thomas, J., Boote, K. J., Allen, L. H., Gallo-Meagher, M., and Davis, J. M. 2003. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. Crop Science 43: 1548-1557.
36. Walker, S., and Ogindo, H. O. 2003. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth 28: 919-926.
37. Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. Agriculture Water Management 17: 215-231.
38. Yadav, O., and Bhatnagar, S. 2001. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. Field Crops Research 70: 201-208.
39. Yadav, R. S., Hash, C., Bidinger, F. R., Cavan, G., and Howarth, C. 2002. Quantitative trait loci associated with traits determining grain and stove yield in pearl millet under terminal drought stress conditions. Theoretical and Applied Genetics 104: 67-83.

40. Yang, G., Aiwang, D., Jingsheng, S., Fusheng, L., Zugui, L., Hao, L., and Zhandong, L. 2009. Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. Field Crops Research 111 (2): 65-73.
41. Yang, F., Huang, S., Gao, R., Liu, W., Yong, T., Wang, X., Wu, X., and Yang, W. 2014. Growth of soybean seedling in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far- red ratio. Field Crops Research 155: 245-253.
42. Yang, N., Wang, C. L., He, W. P., Qu, Y. Z., and Li. Y. S. 2016. Photosynthetic characteristics and effects of exogenous glycine of Chorispora bungeana under drought stress. Photosynthetica 54: 459-467.
43. Yordanov, I., Velikova, V., and Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. Bulgarian Journal of Plant Physiology 187-206.
44. Zheng, H. F., Chen, L. D., Yu, X. Y., Zhao, X. F., Ma, Y., and Ren, Z. B. 2015. Phosphorus control as an effective strategy to adapt soybean to drought at the reproductive stage: evidence from field experiments across northeast China. Soil Use and Management 31: 19-28.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 4, Winter. 2019, p. 761-779

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۷، ص. ۷۷۹-۷۶۱

Evaluation of Yield and Yield Components of Common Millet and Soybean in Different Intercropping Ratios under Deficit Irrigation Levels in Hamden Region

S. Hajinia[1]- G. Ahmadvand[2*]- A. A. Mehrabi[3]

Received: 13-08-2017
Accepted: 21-07-2018

Introduction

Drought is one of the major abiotic stress limiting plants growth and productivity across the world. Intercropping increased the efficiency of water utilization. In arid and semi-arid regions, intercropping can improve water use efficiency and water conservation in soil. Because intercropped plants use water efficiently and caused increasing of water use efficiency. Intercropping of legumes and cereals compared with corresponding sole cropping is common and might be beneficial in semi-arid regions particularly in resource limiting conditions. Do and Goutan (1987) reported that millet can be planted in mixture with some plants such as cowpea, sorghum, peanut and soybean. The aim of the investigation was to study the impact of intercropping on the growth and yield of millet and soybean under deficit irrigation.

Materials and Methods

The experiment was carried out as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications, at the Research Farm of Agricultural Faculty of Bu-Ali Sina University in 2015. The main factor included three levels of deficit irrigation (irrigation after 60 (well-watered), 90 (mild stress) and 120 (severe stress) mm by using of class A evaporation pan) and five levels of replacement intercropping consisted of monoculture of soybean, monoculture of millet, 67% soybean+ 33% millet (67S:33M), 50% soybean+ 50% millet (50S:50M) and 33% soybean+ 67% millet (33S:67M) as subplot.

Results and Discussion

Water stress decreased chlorophyll concentration of millet and soybean. In all intercropping ratios, the chlorophyll concentration of soybean was higher than its monoculture. The rate of increase in chlorophyll concentration in (67S:33M), (50S:50M), and (33S:67M) ratios compared to monoculture of soybean, were 8.43, 8.57 and 8.76 percent respectively. The highest total chlorophyll content of millet was obtained in (50S:50M) and (33S:67M) ratios, that was 12.34 and 12.09 percent higher than monoculture of millet, respectively. The highest number of panicles per plant of millet was obtained from (50S:50M) and (67S:33M) ratios under well-watered, and the lowest one was observed in monoculture of millet under severe water stress. The highest number of seed per panicles of millet was observed at intercropping of 33S:67M, 50S:50M and 67S:33M treatments under well-watered, and the lowest value was measured in monoculture of millet under sever water stress. Water stress decreased number of pods per plant, number of seeds per pod and 100-seed weight of soybean, compared to well-watered. Number of pods per plant, number of seeds per pod and 100-seed weight of soybean reduced in severe water stress were about 50.58, 33.68 and 26.09 percent, respectively, compared to well-watered. The number of pods per plant of soybean plants in all intercropping patterns was higher than monoculture of soybean. The rate of increase in number of pods per plant in (67S:33M), (50S:50M), and (33S:67M) ratios, were 6.38, 11.63 and 7.75 percent respectively, compared to monoculture of soybean. The highest seeds per pod of soybean was obtained in (50S:50M) ratio by 13.78 percent higher than monoculture of soybean. Water stress reduced grain yield of millet and soybean by 46.8 and 50.05 percent, respectively. Under well-watered condition, the highest yield of millet was obtained in (67S:33M) and (50S:50M) ratios. The highest actual yield of soybean was observed in (50S:50M) ratio by. Maximum value of LER (1.14) was achieved in (50S:50M) ratio intercropping in severe stress.

1- PhD Crop Physiology, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamden, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Bu Ali Sina, Hamden, Iran
3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran
(*- Corresponding Author Email: gahmadvand@basu.ac.ir)

Conclusions

The best planting pattern to obtain maximum yield of millet and soybean was (50S:50M) ratio. The difference in rooting millet with soybean and better use of water in different soil depths could be reason to the high yield under water stress, the show millet and soybean intercropping were complementary.

Keywords: Chlorophyll, Irrigation, Land Equivalent Ratio, Pattern planting